دریافت: ۹ دی ۱۴۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۰ شهریور ۱۴۰۴ صفحات ۱ الی ۲۵

تدوین استراتژی‌های ارتقاء CNG در سبد سوخت کشور با استفاده از مدل‌سازی پویایی‌های سیستم

معصومه زینال نژاد

استادیار مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب، تهران ایران

m.zeinalnezhad@gmail.com
ORCID ID: 000-0001-6767-1157

سمیه علوی (نویسنده مسئول)

استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی ،دانشگاه شهید اشرفی اصفهانی، اصفهان، ایران

somayeh_alavi61@yahoo.com
ORCID ID: 0000-0003-0850-3828

چکیده : متوسط رشد ۳.۱ درصدی سالیانه مصرف بنزین در دهه اخیر، سرمایه‌های ملی کشور را در ابعاد سلامت، اقتصاد و زیست‌محیطی به‌صورت جدی مورد تهدید قرار داده است. افزایش سهم سوخت CNG در سبد سوخت کشور یکی از راهکارهایی است که می‌تواند تبعات این تهدیدها را کاهش دهد. از همین روی هدف پژوهش حاضر تدوین استراتژی هایی به منظور افزایش سهم CNG در سبد سوخت کشور با بکارگیری رویکرد پویایی سیستم در نظر گرفته شده است. پس از مرور ادبیات پیشین با ابزار پویایی‌شناسی سیستم‌ها، تعداد خودروهای بنزینی و دوگانه‌سوز مدل‌سازی شده و پس از شبیه‌سازی پیوسته با نرم‌افزار ونسیم به ارزیابی تأثیر سناریوهایی همچون افزایش نسبت قیمت بنزین به قیمت CNG بر روی میزان مصرف سوخت بنزین و CNG پرداخته شده است. در این مدل‌سازی تأثیر متغیرهای مرتبط با سوخت ازجمله دسترس‌پذیری، امنیت انرژی، نسبت قیمتی، یارانه، آلاینده منتشره، رواج تکنولوژی، پیمایش و قیمت هر نوع خودرو در محاسبه جذابیت نسبی استفاده از خودروها در نظر گرفته‌شده است. شش سناریو طراحی و رفتار مدل بر اساس آنها سنجیده شد. نتایج نشان داد چهارمین سناریو یعنی " اختصاص ۳۰ درصد از تولیدات خودروسازان داخلی به تولید خودرو دوگانه‌سوز"، برترین استراتژی به منظور افزایش سهم CNG می باشد. همچنین، نتایج تحلیل حساسیت پارامترهای برون‌زای مدل نشان می‌دهد سه پارامتر قیمت گاز طبیعی فشرده به نسبت بنزین، دسترسی به گاز طبیعی فشرده و یارانه پرداختی به بنزین بیشترین تأثیر را در تغییرات مصرف سوخت CNG دارند.

کلیدواژه‌ها: پویایی‌شناسی سیستم‌ها، مصرف CNG، خودروهای دوگانه‌سوز، استراتژی ارتقاء CNG، سبد سوخت کشور

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

۱-۱ مقدمه

امروزه اتخاذ استراتژی‌های راهبردی در راستای مدیریت و برنامه‌ریزی راهبردی مناسب در بخش انرژی یکی از اساسی‌ترین مباحث مورد توجه در کشورهای جهان است. عمدتاً آگاهی از برآورد میزان تقاضای انرژی در آینده و برنامه‌ریزی صحیح استراتژیک برای پاسخ‌گویی به آن و تأمین امنیت انرژی از دغدغه‌های اصلی دولت‌ها محسوب می‌شوند (ریزوی و همکاران[1]، ۲۰۲۳ص ۱۰۱۴۲۱). یکی از بخش‌های مهم تقاضای انرژی، بخش حمل‌ونقل است که با توجه به زیرساخت‌ها و دسترسی به انرژی‌های موجود هر کشور و از همه مهم‌تر بحث امنیت انرژی نسبت به انتخاب سوخت مناسب در این بخش اقدام می‌کنند. از دیگر اولویت‌های انتخاب سوخت علاوه بر مباحث تأمین امنیت انرژی، ملاحظات اقتصادی و زیست‌محیطی است (صراف و شستری[2] ۲۰۲۳ ص ۷۹۹). تحقیقات نشان می دهد که بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی در کشورهای عمده مصرف کننده نفت همبستگی مثبت وجود دارد. با این حال، این رابطه همچنین منجر به افزایش انتشار دی‌اکسید کربن می‌شود و سیاست‌هایی را برای استفاده کارآمد از انرژی و تغییر به سمت منابع تجدیدپذیر ضروری می کند (نورمطلق و سیفتیوقل[3]، ۲۰۲۳ ص ۶۷) . داده‌های سالانه مصرف سوخت و انرژی نشان می‌دهد که اجرای فن‌آوری‌ها و سیاست های صرفه‌جویی در انرژی به طور قابل‌توجهی کارایی را در شرکت‌های بزرگ نفتی افزایش می‌دهد و موجب کاهش اثرات زیست‌محیطی می شود (برتولدی و موسکنی[4]، ۲۰۲۰ ص ۱۱۱۳۲۰) .

آمارهای رسمی اعلام‌شده از سوی وزارت نفت جمهوری اسلامی ایران در خصوص مصرف روزافزون سوخت‌های فسیلی به‌ویژه بنزین در کشور متأثر از افزایش تعداد خودروها و در کنار آن محدودیت‌های ایجادشده ناشی از تحریم‌های بین‌المللی در جهت کاهش تأمین سوخت بنزین از طریق واردات و همچنین محدودیت‌های تولید پالایشگاه‌ها و از همه مهم‌تر مسائل زیست‌محیطی حادث‌شده در کلان‌شهرها به‌ویژه در فصول سرد سال باعث گردید سیاستمداران و دولتمردان در پی سوخت جایگزین بنزین جهت مرتفع نمودن محدودیت‌های اشاره‌شده باشند رضوی نسب و همکاران (۱۴۰۱، ص ۲۳۷). بر این اساس در اواخر دهه ۱۳۷۰ با توجه به زیرساخت‌ها و منابع انرژی موجود در کشور، سوخت گاز طبیعی فشرده به‌عنوان سوخت جایگزین مناسب انتخاب گردید. بنا بر آمار منتشرشده از سوی مدیریت طرح CNG شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران، در حال حاضر به‌طور متوسط روزانه ۲۲.۴ میلیون مترمکعب سوخت گاز طبیعی فشرده در شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای کشور عرضه و مورد استفاده قرار می‌گیرد که این میزان حدود ۲۱.۲ درصد از سهم سوخت گاز طبیعی

[1] Rizvi et al.
[2] Saraf & Shastri
[3] Noorymotlagh & Çiftçioğlu
[4] Bertoldi & Mosconi

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

فشرده در سبد سوخت کشور را تشکیل می‌دهد که با توجه به ظرفیت مناسب منابع گازی و زیرساخت‌های کشور، افزایش سهم گاز طبیعی فشرده در سبد سوخت کشور ضروری به نظر می‌رسد.

حرکت به سمت سبد بهینه سوخت دارای الزامات متعددی است که مهم‌ترین آن عدم تغییر سهم هزینه‌های حمل‌ونقل در سبد هزینه‌های خانواراست. کشورهای متعددی در دنیا برای نیل به تحقق سبد سوخت بهینه، سوخت‌های مختلفی را به سبد سوخت خود اضافه کرده‌اند. به عنوان مثال کشورهای اروپایی نظیر انگلیس، آلمان و بلژیک سوخت دیزل را در کنار بنزین در خودروهای سبک به کار می‌برند. همچنین کانادا، برزیل و ایالات‌متحده آمریکا از سوخت‌های زیستی مانند اتانول به‌طور ممزوج با بنزین استفاده می‌کنند. کشورهایی نظیر چین، ایران، هند، پاکستان، آرژانتین و ایتالیا نیز از گاز طبیعی و به‌صورت گاز فشرده در حمل‌ونقل جاده‌ای بهره‌مند شده‌اند.

لذا، ضرورت مطالعه و بررسی و تحلیل همه‌جانبه ، طراحی اقدامات مناسب جهت کاهش مصرف به لحاظ تغییر فرهنگ مشتریان و یا جایگزینی سوخت پاک و یا سوخت فسیلی کم‌تر آلاینده و مدیریت آن موردنیاز است. بدین منظور عوامل مؤثر بر مصرف گاز طبیعی فشرده با استفاده ازنظر خبرگان مدیریت طرح CNG شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران شناسایی خواهد شد. سپس مدل پویایی سیستم مصرف گاز طبیعی فشرده در سبد سوخت کشور، طراحی و با استفاده از نرم‌افزار Vensim شبیه سازی خوهد شد. در نهایت، تحلیل حساسیت پارامترهای مدل صورت خواهد گرفت و استراتژی‌های مؤثر بر ارتقاء CNG در سبد سوخت کشور با توجه به مدل ارائه‌شده تدوین می گردد.

۲- ادبیات و پیشینه پژوهش

۲-۱ تفکر سیستمی

تفکر سیستمی به نوعی رویکرد تحلیلی گفته می‌شود که بر درک ساختارها و الگوهای اساسی که موجب رفتار سیستم‌ها می‌شوند، تأکید دارد. برخلاف تحلیل‌های سنتی که بر روابط علّی ساده و خطی تمرکز دارند، تفکر سیستمی به بررسی سیستم‌ها به عنوان یک کل، شامل تعاملات و وابستگی‌های میان اجزای آن می‌پردازد (بیلیک و همکاران[1] ۲۰۲۳). این رویکرد به‌ویژه در مواجهه با سیستم‌های پیچیده و چندبعدی که دارای حلقه‌های بازخورد هستند، مؤثر است. کاربردهای تفکر سیستمی شامل بهبود فرآیندهای مدیریتی، توسعه سیاست‌های عمومی و حل مسائل زیست‌محیطی است. یکی از ابزارهای نمایش تفکر سیستمی، رویکرد پویایی شناسی سیستم یا به عبارتی سیستم های دینامیکی است (رزلی و همکاران[2] ۲۰۲۴). سیستم‌های دینامیکی به مجموعه‌ای از متغیرها و قواعدی اطلاق می‌شوند که تعاملات آن‌ها به‌مرور زمان باعث

[1] Bielik et al.
[2] Rosely et al.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

تغییرات در وضعیت سیستم می‌شود. این سیستم‌ها می‌توانند به‌صورت خطی یا غیرخطی، گسسته یا پیوسته باشند و رفتار آن‌ها در طول زمان از طریق معادلات ریاضی یا شبیه‌سازی مدل‌سازی می‌شود.

۲-۲ پیشینه پژوهش

در بخش حاضر ابتدا به بررسی ادبیات پژوهش در زمینه سوخت گاز طبیعی فشرده (CNG) پرداخته خواهد شد. سپس در ادامه، پژوهش هایی که در این حوزه با رویکرد سیستم های دینامیکی انجام شده است مورد بررسی قرار خواهند گرفت. با بررسی پژوهش های داخلی و خارجی، این نکته آشکار می گردد که همگی بر مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی استفاده از CNG در مقایسه با بنزین تأکید دارند. مقالات داخلی بیشتر به اثرات زیست‌محیطی و اقتصادی CNG در شرایط خاص ایران پرداخته‌اند، در حالی که مقالات لاتین به بررسی تاثیرات جهانی و سیاست‌های حمایتی کشورهای مختلف از این سوخت پرداخته‌اند. پژوهش‌های داخلی مانند حسینی فر و همکاران (۱۴۰۲، ص ۱۵۱) و نادری و همکاران (۱۴۰۰ ص ۱۳۴) به طور خاص بر کاهش آلودگی هوای شهرهای ایران تاکید کرده‌اند، در حالی که پژوهش‌های بین‌المللی مانند یعقوب و همکاران[1] (۲۰۲۰ ص ۱۰۰۰۸۱) و ریزوی و همکاران (۲۰۲۳، ۱۰۱۴۲۱) به ارزیابی اثرات استفاده از CNG بر کیفیت هوای شهری در کشورهای دیگر پرداخته‌اند.

از سوی دیگر، برخی مقالات لاتین مانند تیموری و همکاران[2] (۲۰۲۲ ص ۳۷۹۹۰) به بررسی چرخه عمر سوخت‌ها پرداخته‌اند که این نوع مطالعات کمتر در مقالات ایرانی مشاهده می‌شود. در عین حال، هر دو گروه مقالات به مزایای اقتصادی و محیط زیستی استفاده از CNG در کاهش هزینه‌های سوخت و بهبود کارایی خودروها اشاره داشته‌اند. حسینی فر و همکاران (۱۴۰۲، ص ۱۵۱) به بررسی اثرات زیست‌محیطی استفاده از CNG در خودروهای سواری پرداخته و نشان می‌دهد که استفاده از CNG به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و بهبود کیفیت هوا منجر می‌شود. چن و همکاران[3] (۲۰۲۴ ص ۱۰۰۰۶۸۰) در پژوهشی مزایای اقتصادی-انرژی و زیست محیطی CNG را بررسی کرده و با بکارگیری یادگیری عمیق به پیش بینی میزان انتشار گاز دی اکسید کربن خودروها پرداخته اند. راهکارهای استقرار ساختار پایدار مصرف گاز طبیعی در سوخت تاکسی‌های شهری با شرایط ویژه مدیریت در ایران توسط رضوی نسب و همکاران (۱۴۰۱، ۲۳۷) با بکارگیری پویایی سیستم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد در صورت خرید و جایگزین تاکسی‌های فرسوده بنزینی و دوگانه‌سوز معمولی با خودروهای دوگانه‌سوز موتور پایه گازسوز در بازه ۲۰ ساله (از سال ۱۴۰۰ تا ۱۴۲۰)، مصرف گاز طبیعی افزایش ۲۴ درصدی و پایدار خواهد داشت. ایلدرآبادی و صادقی (۱۴۰۰، ص ۱۴۶۰) به برآورد حداقلی

[1] Yaqoob et al.
[2] Teimouri et al.
[3] Chen et al.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

از مقدار متوسط انرژی و توان تلف شده خودروها در شهر تهران دراثر ترمزگیری مقابل چراغهای راهنمایی و رانندگی پرداختند. همچنین مطالعه ای برای اولین بار به بررسی اثرات زیست محیطی و اقتصادی تبدیل CNG بر روی سه چرخه پرداخت است(فاتح و همکاران[1]، ۲۰۲۳ ص ۱۹۹۰۰۰). نادری و همکاران (۱۴۰۰، ص ۱۳۴) به مقایسه عملکرد خودروهای دوگانه‌سوز و بنزینی پرداخته است و یافته‌های آن نشان داد که CNG در مقایسه با بنزین، از نظر مصرف سوخت و هزینه‌های عملیاتی، مقرون‌به‌صرفه‌تر است. امانلو و همکاران (۱۴۰۰، ص ۱۰۵) وضعیت آلاینده های خودروهای سواری ساخت ایران در دو شهر خوزستان و آذربایجان شرقی را مورد بررسی قرار دادند. شمساپور و همکاران[2] (۲۰۲۱ ص ۵۷۷) نشان داده‌اند جایگزینی مصرف سوختهای با آلایندگی CO2 بالا با مصرف CNG می‌تواند تأثیر قابل توجهی در کاهش انتشار CO2 داشته باشد. صحت پور و همکاران[3] (۲۰۱۷ ص ۲۹۵) با هدف پیش بینی یک سبد سوخت بهینه بر اساس وسایل نقلیه سبک وزن ایران با توجه به نگرانی‌های مختلف در مورد سوخت‌های جایگزین تا سال ۲۰۲۵ آن تحقیقی را انجام دادند. در یک مطاله مروری در بازه سال های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ به بررسی و دسته بندی مقالات در زمینه کاربرد CNG به عنوان سوخت خودروها پرداختند (موناهار و همکاران[4] ۲۰۲۲ ص ۲۶۱).

پژوهشی با استفاده از روش پویایی شناسی سیستم ها، عوامل و بازخوردهای مؤثر بر افزایش پایدار تعداد اتوبوس های گازسوز (CNG) تا سال ۱۴۱۰ را شناسایی و مدلی پویا برای توسعه بهینه و پایدار استفاده از اتوبوس های شهری گازسوز ارائه نموده است (رضوی نسب و همکاران ، ۱۴۰۱ ،ص ۱۲۰). طهماسبی و رضوی نسب (۱۳۹۹، ص ۴۸) به تحلیل عوامل مؤثر در توسعه استفاده از CNG به‌جای بنزین در سیستم حمل‌ونقل جاده‌ای ایران با استفاده از پویایی شناسی سیستم پرداختند. جمع آوری اطلاعات صحیح و به موقع در خصوص صنعت CNG، تدوین یک برنامه بلند مدت برای سبد سوخت کشور، قیمت متناسب انواع سوخت، تناسب رشد خودروهای دوگانه سوز با جایگاه های عرضه CNG به عنوان موثرترین عوامل در توسعه استفاده از گاز طبیعی فشرده به جای بنزین شناخته شده است. دانش شهرکی و همکاران (۱۳۹۶، ص ۵۴) با بکارگیری رویکرد پویایی سیستم نشان دادند، افزایش ۲درصدی قیمت بنزین و CNG موجب کاهش آلودگی هوا تهران می گردد. زارعیان و شکوری (۱۳۹۵، ص ۷۴) به تحلیل سیستمی تقاضای بنزین و برآورد کشش قیمتی تقاضای آن در استان تهران پرداختند. نتایج موید جذابیت حمل و نقل عمومی و حمل و نقل شخصی بر روی میزان تقاضای بنزین می باشد. نظری و کاشی (۱۴۰۳، ص ۸۵) نشان دادند افزایش قیمت سوخت به‌تنهایی نمی‌تواند سهم حمل‌ونقل عمومی در شهرها را به‌طور قابل‌توجهی افزایش دهد.

[1] Fattah et al.
[2] Shamsapour et al.
[3] Sehatpour et al.
[4] Munahar et al.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

اولیویرا و همکاران[1] (۲۰۱۹، ص ۸۳) در مطالعه ای رواج خودروهای سوخت جایگزین در کشور پرتغال را با در نظر گرفتن ترجیحات پویا و سیاست های تشویقی متناسب با آن، با استفاده از روش پویایی شناسی سیستم ها مورد بررسی قرار دادند. دانش زند و همکاران [2] (۲۰۱۹، ص ۸۸) نیز سیستم عرضه و تقاضای گاز طبیعی با استفاده از پویایی سیستم را مدل سازی کردند. همچنین یک مدل پویایی سیستم برای بخش حمل و نقل جاده‌ای به عنوان بزرگ‌ترین مصرف کننده محصولات نفتی و منبع مهم گازهای گلخانه‌ای در اندونزی ارائه شده است (ستیاوان[3]، ۲۰۱۹ ص ۵۲۰۷۰). گوپتا و همکاران [4] (۲۰۱۹، ص ۳۴۱) با هدف امکان سنجی مشارکت کربن به صورت ابزار جابجایی در کاهش نشر دی‌اکسید کربن حاصل از حمل و نقل جاده‌ای مسافر در هندوستان، با بکارگیری روش پویایی سیستم مطالعه‌ای در این باره صورت دادند. ویلچز و یوچم[5] (۲۰۱۹، ص ۱۰۹۳۶۷) به مرور مقالات مرتبط با بازار خودروهای الکتریکی، انتشار آینده آن و فناوری‌های پیشرانه جایگزین مبتنی بر مدل‌های پویایی شناسی سیستم ها پرداخته و تحقیقات پیشین را به «صنعت‌محور خودرویی» و «سیاست‌محور عمومی» طبقه‌بندی کردند . به اعتقاد صراف و شستری (۲۰۲۳، ص ۷۹۹) پذیرش گزینه های جدید حمل و نقل مانند وسایل نقلیه با سوخت اتانول (E85)، وسایل نقلیه الکتریکی (EV) و وسایل نقلیه گاز طبیعی فشرده (CNG) برای جایگزینی وسایل نقلیه معمولی بنزینی (بنزینی) و دیزلی هنوز به خوبی درک نشده است. از همین روی، نویسندگان با بکارگیری یک مدل پویایی سیستم در حمل‌ونقل خصوصی در هند، ضرورت جایگزینی را تبیین کرده اند. آذرنوش و همکاران[6] (۲۰۲۴، ص ۱۰۰۳۱۴) به ارزیابی عوامل موثر بر پذیرش یا رد خودروهای الکتریکی در یک کشور در حال توسعه با بررسی پیامدهای اقتصادی و زیست محیطی ادغام خودروهای الکتریکی در سیستم حمل و نقل تهران است.

همانطور که مرور ادبیات تحقیق نشان می‌دهد، تعداد مطالعات فراوانی به تجزیه و تحلیل سیستم حمل و نقل از جمله تحلیل متغیرهای حمل و نقل شخصی و عمومی، تعداد خودروهای بنزین سوز و دوگانه سوز، استفاده از گاز طبیعی و رشد اقتصادی، میزان انتشار آلاینده‌ها و ... پرداخته‌اند. با این وجود، پژوهشی که به تحلیل جامعی در خصوص تدوین استراتژی‌های ارتقاء گاز طبیعی فشرده در سبد سوخت کشور ایران با در نظرگیری هم زمان فاکتورهای قیمت، یارانه پرداختی، دسترسی‌پذیری به انواع سوخت، متوسط پیمایش، رواج تکنولوژی و ... با ابزار پویایی شناسی سیستم پراخته باشد، صورت نگرفته است. از سوی دیگر، بررسی ادبیات تحقیقات سیستمی صورت گرفته در این حوزه نیز نشان می‌دهد عمده تحقیقات انجام شده داخلی با استفاده از ابزار پویایی شناسی سیستم‌ها بیشتر به بررسی جنبه‌های زیست محیطی و بعضا

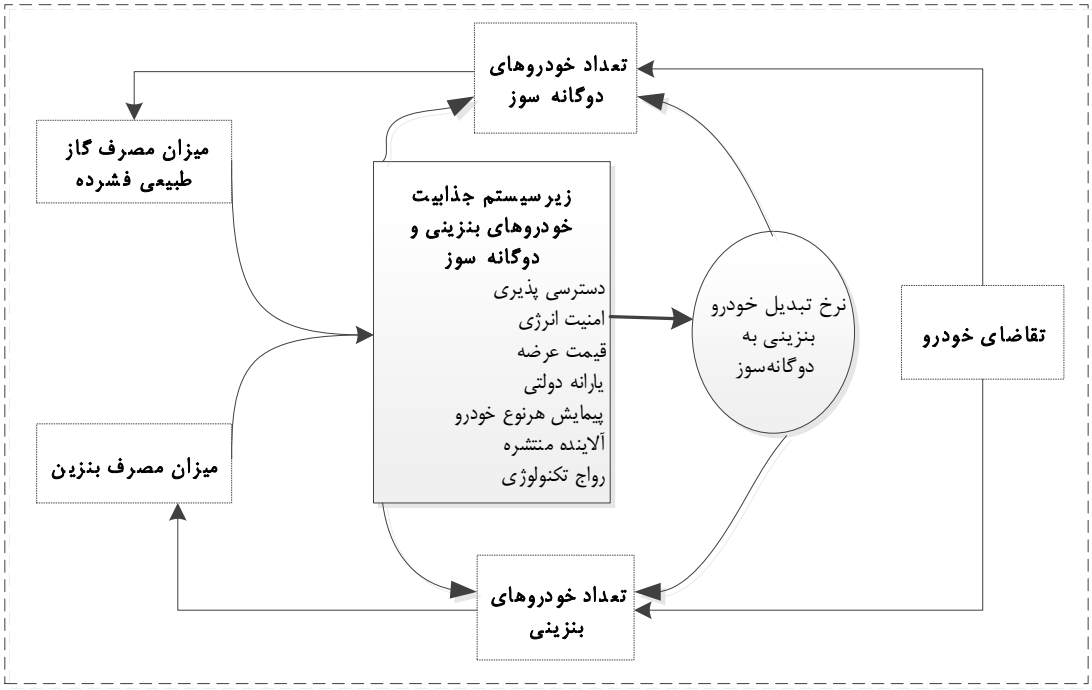
[1]Oliveira et al.
[2]Daneshzand et al.
[3] Setiawan et al.
[4]Gupta et al.
[5] Vilchez & Jochem
[6] Azarnoosh et al.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

اقتصادی استفاده از انواع سوختها پرداخته‌اند؛ حال آنکه در تحقیق حاضر، سعی شده علاوه بر جنبه های محیط زیستی و اقتصادی ، جنبه‌های فنی، سیاستگذاری و اجتماعی نیز در مدلسازی لحاظ شود.

۲-۳ مدل علی معلولی پژوهش

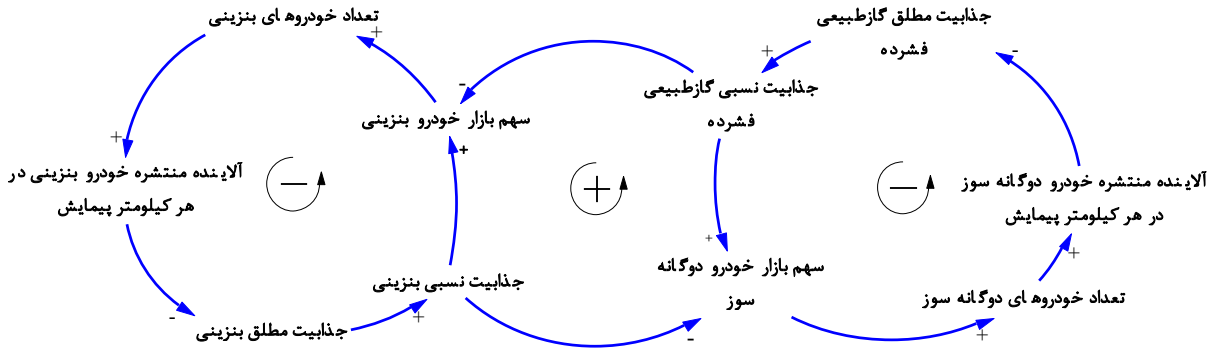
شکل ۱، شمای کلی و مفهومی از مدل ارائه شده در پژوهش حاضر را ارائه می‌دهد. به‌طور کلی در مدل ارائه شده ابتدا تعداد خودروهای دوگانه‌سوز و بنزینی مبتنی بر جذابیت محاسبه شده هر نوع خودرو شکل می‌گیرد و سپس مبتنی بر این تعداد خودرو میزان مصرف انواع سوخت بنزین و گاز طبیعی فشرده محاسبه می‌گردد. نرخ تبدیل خودروهای بنزینی به دوگانه سوز نیز منجر به انتقال خودروهای بنزینی به خودروهای دو گانه سوز می‌گردد.



شکل ۱: نمودار زیر سیستم‌ها

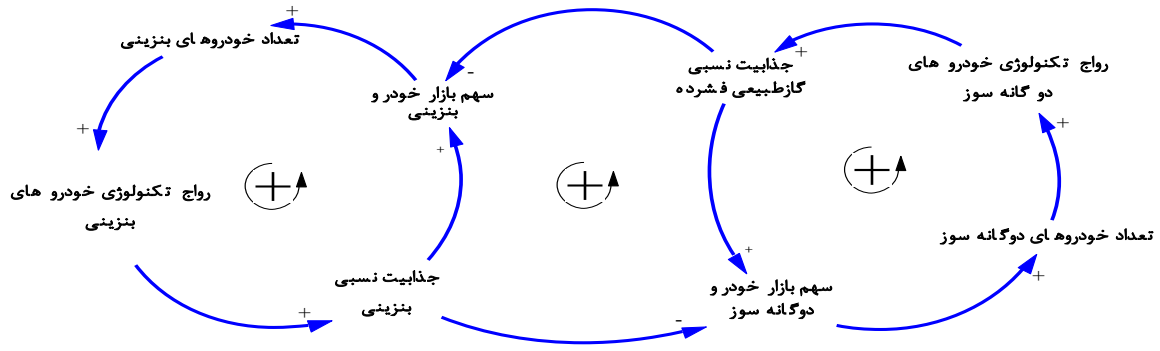
متغیرهای کلیدی در این تحقیق، متغیرهای مرتبط به افزایش مصرف سوخت گاز طبیعی فشرده در مقابل مصرف سوخت بنزین می‌باشد که در جدول الف در پیوست مقاله به آنها اشاره شده است. در گام بعد، مدل ساختاری مسئله طراحی می‌شود. اولین فرضیه دینامیکی مربوط به تأثیر آلایندگی منتشره بر روی تعداد خودروهای دوگانه سوز و بنزینی است. در حلقه‌های شکل ۲، دو حلقه منفی و یک حلقه مثبت وجود دارد. حلقه‌های منفی منجر به کنترل رشد هر نوع از خودروها می‌شود. در حلقه مثبت از آنجا که آلایندگی خودروهای دوگانه سوز نسبت به بنزینی بسیار کمتر است، منجر به رشد تعداد خودروهای دو گانه سوز و کنترل خودروهای بنزین سوز خواهد شد. آلایندگی بالای خودروهای بنزینی از طریق لوپ منفی، تعداد خودروهای بنزینی را کنترل می‌کند و از طریق لوپ مثبت (لوپ رقابتی) منجر به افزایش خودروهای دوگانه سوز می‌شود.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]



شکل۲: نمودار حلقه علّی فرضیه دینامیکی اول (اثر آلایندگی منتشره بر روی تعداد خودروها)

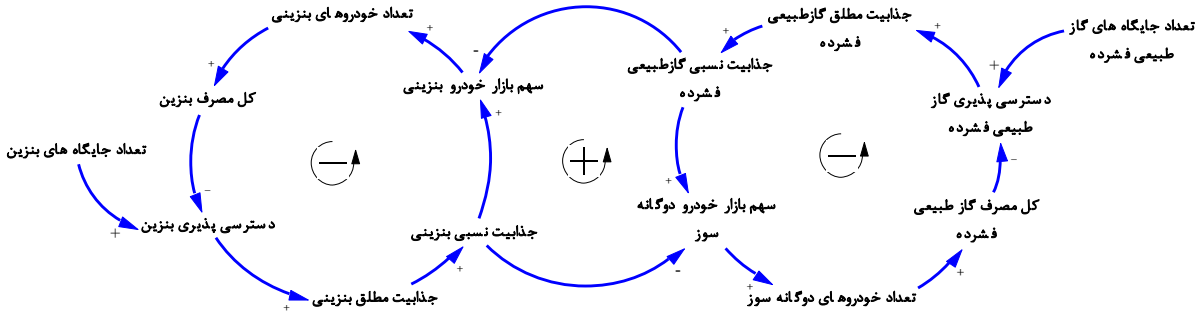
فرضیه دینامیکی دوم مورد بررسی در تحقیق مربوط به رواج تکنولوژی خودروهای دوگانه سوز و بنزینی است. در شکل ۳، سه حلقه مثبت وجود دارد. رواج تکنولوژی هر نوع از خودروها به خودی خود منجر به افزایش تعداد هر نوع خودرو می‌شود؛ در طی حلقه مثبت کلی (لوپ رقابتی) نیز، رواج یک نوع خودرو منجر به افزایش سهم بازار آن نوع خودرو نسبت به نوع دیگر می‌شود.



شکل۳: نمودار حلقه علی فرضیه دینامیکی دوم (رواج تکنولوژی خودروهای دوگانه سوز و بنزینی بر روی سهم بازار خودروها)

فرضیه دینامیکی سوم مربوط به دسترس‌پذیری به سوخت هر نوع خودرو است. در دو حلقه منفی شکل ۴، افزایش هر نوع خودرو، منجر به کاهش دسترس‌پذیری به سوخت آن خودرو خواهد شد و منجر به کنترل رفتار افزایشی تعداد هر نوع خودرو می‌شود. از طرفی این بازخورد ابزار خوبی است که حاکمیت می‌تواند با تمرکز بر آن نسبت به توسعه و رواج دادن مصرف سوخت گاز طبیعی فشرده اقدام نماید. احداث هر جایگاه سوخت، دسترس‌پذیری آن سوخت را برای مصرف افزایش می‌دهد و با کمک این حلقه و حلقه‌های تبیین شده در بالا منجر به افزایش جذابیت خودروهای دوگانه سوز می‌شود.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

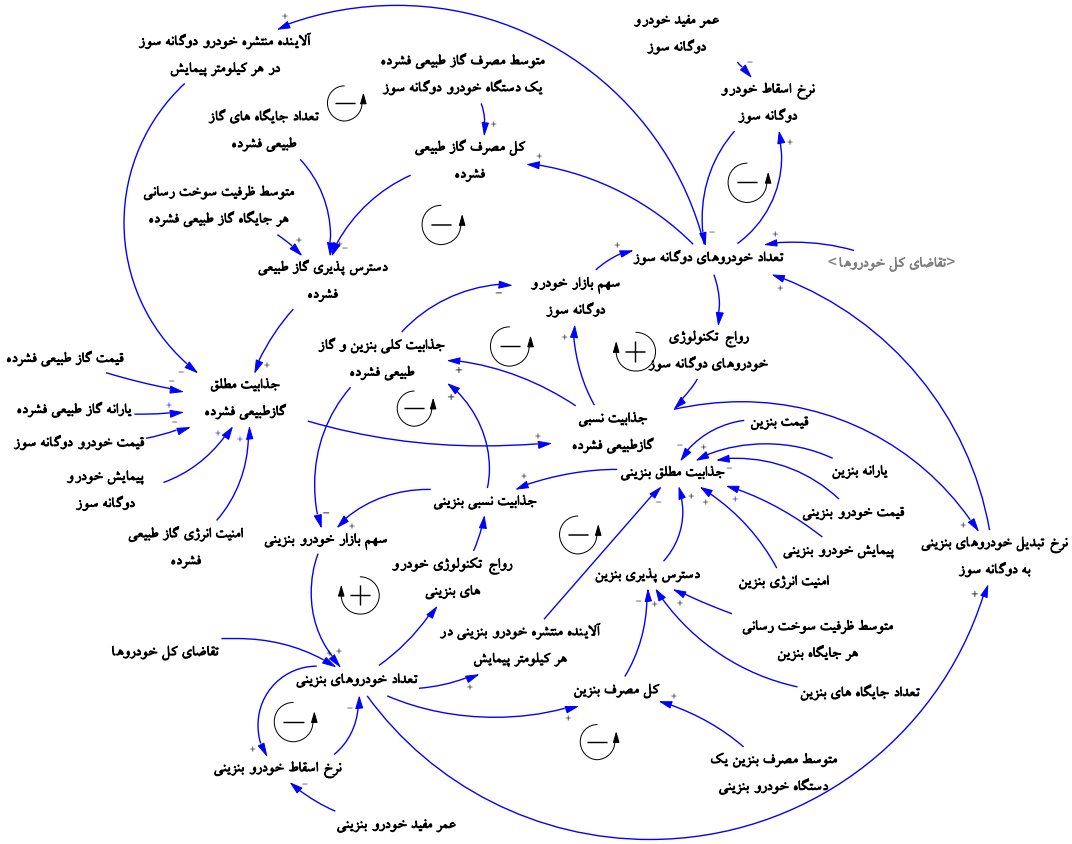


شکل۴:نمودار حلقه علِّی فرضیه دینامیکی سوم (دسترس‌پذیری به سوخت هر نوع خودرو بر روی سهم بازار خودروها)

۴-۲ نمودار حلقه علی

در مدل‌سازی این تحقیق تأثیر متغیرهای دیگری مانند قیمت سوخت، یارانه سوخت، قیمت خودرو، پیمایش خودرو، امنیت انرژی، تقاضای کل خودرو ها، جذابیت کلی بنزین و گاز طبیعی فشرده و نرخ تبدیل خودروهای بنزینی به دوگانه سوز و سایر متغیر های استفاده شده در نظر گرفته شده است. شکل ۵ نمودار حلقه علِّی کلی تحقیق پیش رو است. لازم به ذکر است که ساختارهای علی از سه روش مطالعه رفتار گذشته متغیرهای هدف، مشورت با خبرگان و مرور ادبیات پیشین تحقیق طراحی شده‌اند و مدل توسط خبرگان امر مورد تأیید قرار گرفته شده است.پس از اتمام این گام، نمودار جریان انباشت ترسیم می‌شود. این نمودار با تقسیم‌بندی متغیرهای اصلی به متغیرهای سطح، نرخ و کمکی، ترسیم می‌گردد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]



شکل ۵: نمودار حلقه علّی پژوهش

۳-روش پژوهش

تحقیق حاضر از منظر هدف کاربردی بوده و با توجه به اینکه برای آزمون تئوری توسعه داده شده و جهت بررسی سناریوهای مختلف از شبیه سازی در آن استفاده شده است شبه آزمایشی می‌باشد.گام های انجام گرفته در تحقیق پیش رو مبتنی بر روش پویایی شناسی سیستم ها مطابق با شکل ۶ می باشد. در این تحقیق از نظر خبرگان شرکت ملی پخش فرآورده های نفتی از جمله مدیران، معاونین و کارشناسان متخصص و باسابقه مدیریت طرح CNG برای تایید مدل مفهومی و حلقه های علی استفاده شده است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

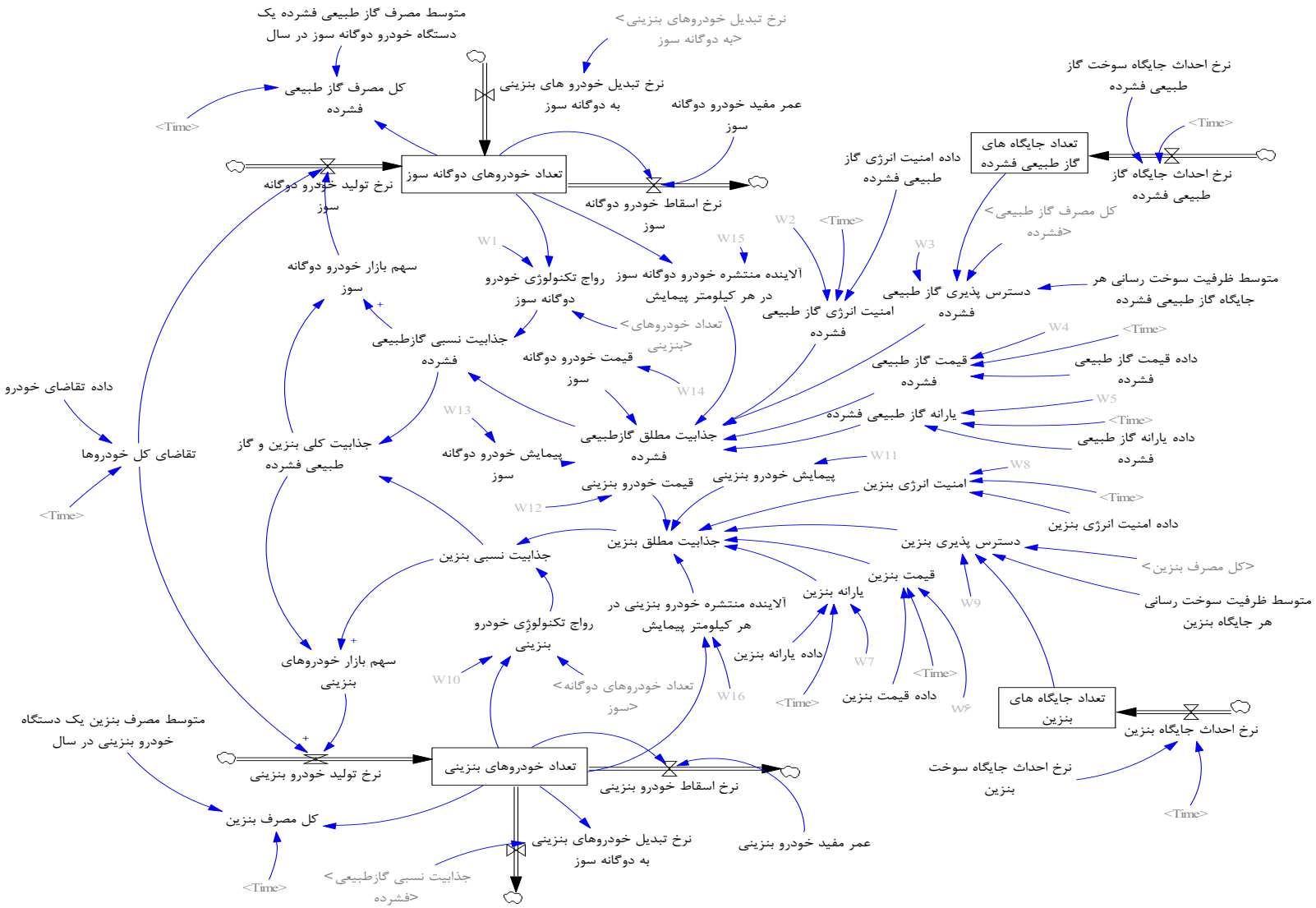
شکل۶:مراحل اجرا پژوهش

افق زمانی مورد نظر در این تحقیق، ۱۰ سال درنظر گرفته شده است؛ بنابراین مدل با استفاده از داده‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ اعتبارسنجی شده و با کمک آن به ارزیابی سناریوها از سال ۱۴۰۰ به بعد تا ۱۴۱۰ پرداخته شده است. در این تحقیق از نرم‌افزارهای Vensim برای تجزیه و تحلیل داده‌ها بهره گرفته شده است. در نمودار جریان تبیین شده در بخش ۴، متغیرها و روابط ریاضی آنها طبق جدول ب، ارائه شده در پیوست مقاله می باشد.

۴- شبیه سازی و اعتبارسنجی مدل

نمودار جریان انباشت تحقیق مطابق با شکل ۷ می باشد. در این بخش پس از شبیه سازی مدل، ابتدا با انجام سه آزمون مختلف به اعتبارسنجی مدل پرداخته و ارزیابی سیاست ها مطرح خواهد شد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

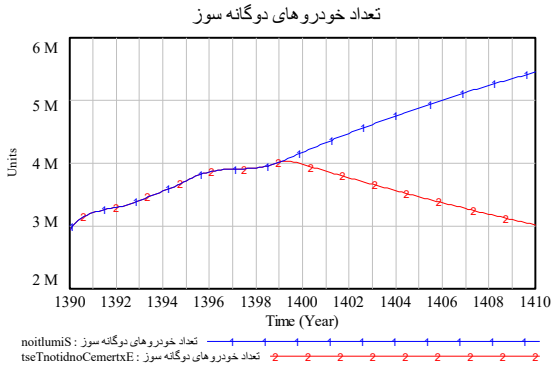


شکل۷:نمودار جریان مدل علّی معلولی

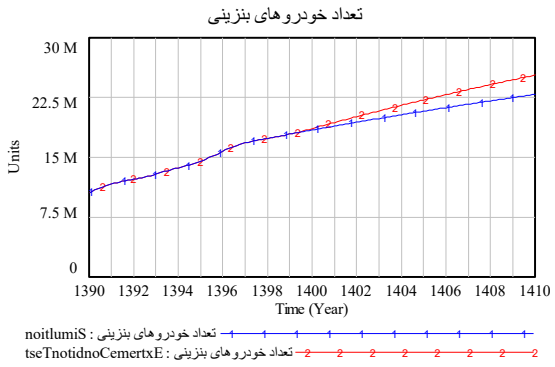
[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

۴-۱ آزمون شرایط حدی

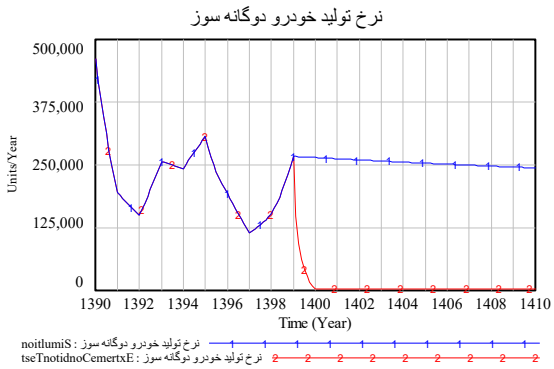
در این قسمت متغیرهای ورودی مدل تحت مقادیر مختلف مورد بررسی قرار داده می شوند. بررسی رفتارهای مدل در شکل های ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲و ۱۳،نشان داد که مدل در شرایط حدی از رفتار منطقی برخوردار است و با مشاهده نتایج حاصل از این تغییر و یا تغییرات دیگر بر روی متغیرهای ورودی عملاً هیچ رفتار نامعقولی ایجاد نشده است. بنابراین از نظر این آزمون اعتبار مدل مورد تایید قرار می گیرد. به عنوان یک نمونه از آزمون حدی فرض شود، از سال ۱۴۰۰ به بعد قیمت گاز طبیعی نرمال شده به ۱ و قیمت بنزین نرمال شده به صفر نزدیک شود. در این صورت نرخ افزایش خودروهای دوگانه سوز به صفر رسیده و در عوض تعداد خودروهای بنزینی افزایش پیدا می کند.



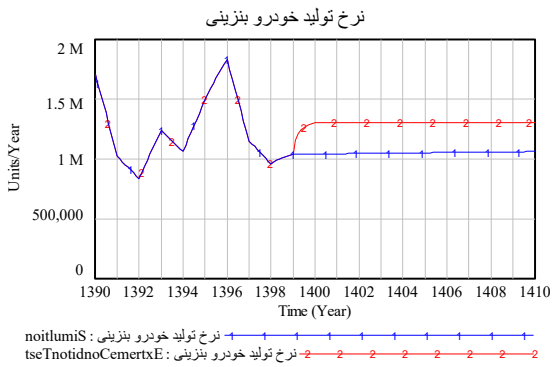
شکل۸:نمودار رفتار متغیر تعدادخودرو های دوگانه سوز در شرایط حدی



شکل۹: نمودار رفتار متغیر تعداد خودروهای بنزینی در شرایط حدی

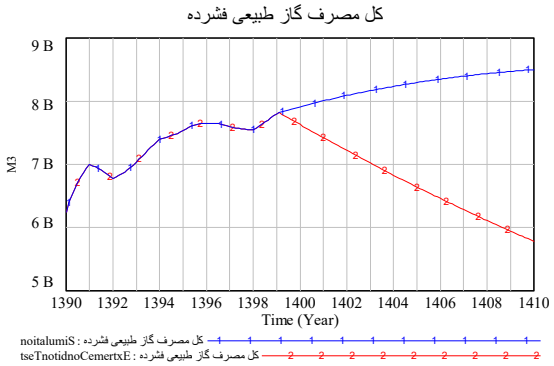


شکل۱۰: نمودار رفتار متغیرنرخ تولید خودروهای دوگانه سوز در شرایط حدی

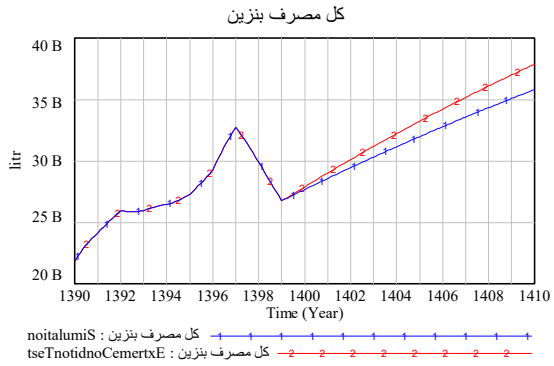


شکل۱۱: نمودار رفتار متغیرخودرو های بنزینی در شرایط حدی

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]



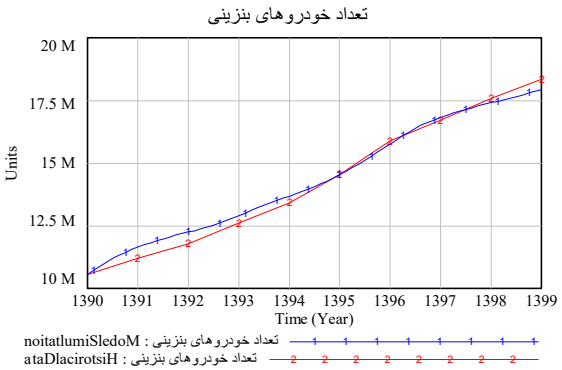
شکل۱۲: نمودار رفتار متغیر مصرف گاز طبیعی فشرده در شرایط حدی



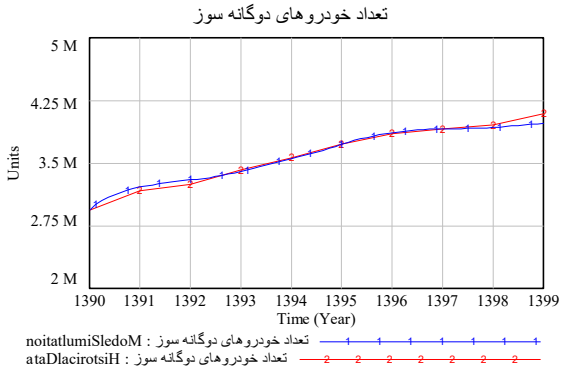
شکل۱۳: نمودار رفتار متغیر مصرف بنزین فشرده در شرایط حدی

۴-۲ آزمون انطباق رفتار با الگوی مرجع

در شکل ۱۴ و شکل ۱۵ داده‌های واقعی مربوط به تعداد خودروهای بنزینی و گازسوز و نیز خروجی مدل شبیه‌سازی آورده شده است.



شکل۱۴: نمودار رفتار متغیر تعداد خودروهای بنزینی در مقایسه با داده‌های واقعی (خطای ۱.۷٪)



شکل ۱۵: نمودار رفتار متغیر تعداد خودروهای دوگانه سوز در مقایسه با داده‌های واقعی (خطای ۰.۸٪)

در جدول شماره ج در پیوست مقاله، مقادیر خطاها در سال های مختلف را نشان داده و در نهایت مقدار خطا با روش MAPE[1] ارائه شده است. همانطور که مشاهده میشود مقدار خطاها کمتر از ۵ درصد بوده و اعتبار مدل از نظر این آزمون نیز مورد تایید قرار می گیرد.

[1] Mean absolute percentage error

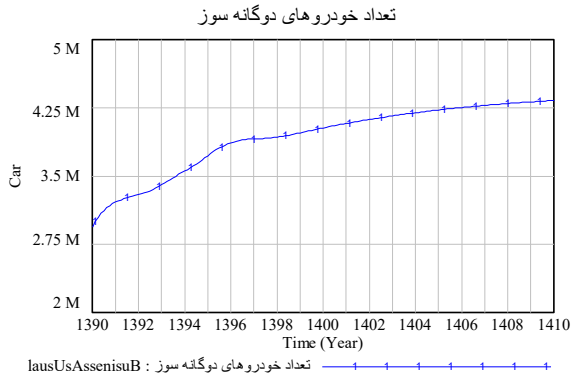
[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

۴-۳ طراحی و ارزیابی سناریوها

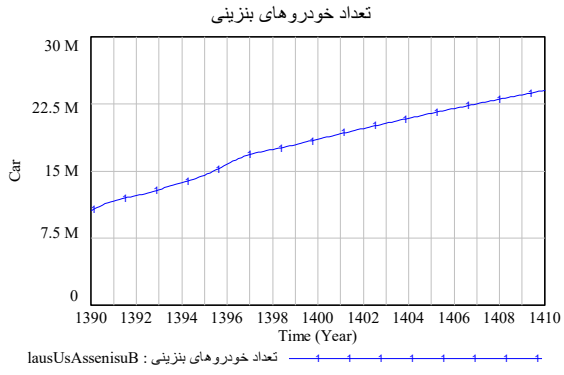
پس از اتمام طراحی مدل و حصول اطمینان از اعتبار آن، به بررسی اثر اجرای استراتژیهای دولت در افق ۱۰ ساله پرداخته شده است. استراتژی‌های تعریف شده شامل تغییر نسبت قیمت‌های سوخت، کاهش یارانه پرداختی به سوخت‌ها، توسعه جایگاه‌های عرضه سوخت، حمایت دولت جهت تبدیل خودرو بنزینی به دوگانه‌سوز و تولید خودرو دوگانه‌سوز می‌باشد. این استراتژی‌ها در قالب شش سناریو مختلف ارائه شده و به تحلیل و بررسی نتایج اجرای آنها پرداخته شده است. لازم به ذکر است در تدوین استراتژی ها و سناریوها از «سند شورای تامین انرژی بخش حمل و نقل کشور تا افق ۱۴۲۰ با تاکید بر کارایی و بهینه سازی مصرف سوخت» و مصوبه به شمارهٔ ۱۳۶۵۹۶ مورخ ۱۴۰۰/۰۳/۲۹ درخصوص طرح «حمایت از تولید خودروهای دوگانه‌سوز، تبدیل کارخانه خودروهای بنزینی به CNG سوز و کمک به احداث جایگاه‌های هوشمند عرضه سوخت CNG» استفاده شده است.

۴-۳-۱ سناریو اول: ادامه وضع موجود (مبنا)

در این سناریو شرایط اصلی مسئله حاکم است. رفتار تعداد خودرهای گاز سوز در طی زمان در شکل ۱۶ و تعداد خودروهای بنزینی در شکل ۱۷ آمده است.



شکل ۱۶: نمودار رفتار متغیر تعداد خودروهای دوگانه سوز در سناریو اول



شکل ۱۷: نمودار رفتار متغیر تعداد خودروهای بنزینی در سناریواول

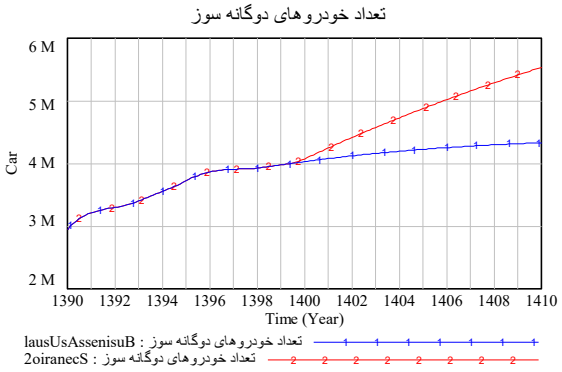
از نتایج حاصل از شبیه‌سازی قابل مشاهده است با اجرای سهمیه بندی بنزین در کشور طی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۴ و مجدداً از سال ۱۳۹۸ تا کنون و همچنین افزایش قیمت بنزین طی سال‌های ۱۳۸۷، ۱۳۸۹، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۸ در نرخ تولید خودرو بنزین سوز و تبدیل و تولید خودرو دو گانه سوز تأثیر داشته است؛ بگونه‌ای که خودروسازان بنا بر خواست مصرف‌کنندگان و مشتریان خود تصمیم به تغییر در تیراژ محصولات تولیدی خود و همچنین تغییر در نسبت تولید خودرو بنزینی به دو گانه سوز گرفته‌اند و از آن طرف سیاست‌های دولت در توسعه صنعت گاز طبیعی فشرده و پرداخت مشوق‌های ریالی به

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

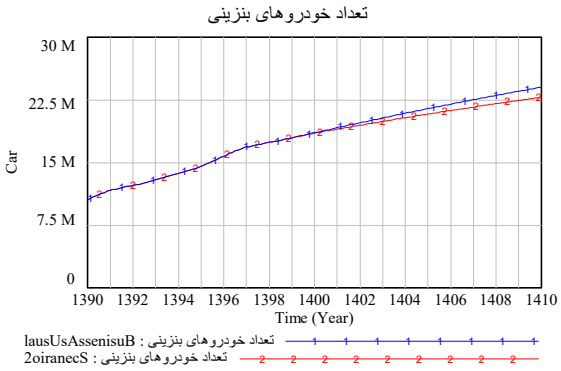
خودروسازان نیز تأثیر مهمی در این تغییر برنامه تولید خودرو سازان داشت لذا نمودارهای مذکور بیانگر کاهش نرخ تولید خودروهای بنزینی و تولید و تبدیل خودروهای دوگانه سوز طی سال‌های ۹۰ و ۹۳ گردیده است و از سال ۱۳۹۴ افزایش اندکی در تولید و تبدیل خودروهای مذکور ایجاد شده که منجر به تقریباً ثابت ماندن این نرخ تا ۱۴۱۰ گردیده است.

۴-۳-۲ سناریو دوم: افزایش نسبت قیمت بنزین به قیمت گاز طبیعی فشرده

در مدل ارائه شده جهت مقایسه تأثیر قیمت گاز طبیعی فشرده و قیمت بنزین بر روی تعداد خودروها مقدار قیمت به صورت نسبت نرمال شده در نظر گرفته شده است. به عنوان نمونه در سال ۱۳۹۹ عدد در نظر گرفته شده برای قیمت نرمال شده بنزین ۰.۷۹ و برای گاز طبیعی فشرده عدد ۰.۲۱ است. چنانچه از سال ۱۴۰۰ به بعد به ترتیب قیمت بنزین ۰.۸۸ و قیمت گاز طبیعی فشرده ۰.۱۲در نظر گرفته شود، نتایج مطابق شکل های ۱۸ و ۱۹ حاصل شده است. این نتایج نشان‌دهنده این است که با افزایش نسبت قیمت بنزین به قیمت گاز طبیعی فشرده، میزان مصرف بنزین و تعداد خودروهای بنزینی کاهش یافته و در مقابل مصرف گاز طبیعی فشرده و تعداد خودروهای دوگانه سوز افزایش یافته است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که یکی از عوامل مؤثر بر ارتقاء کمی مصرف و یا استفاده از سوخت گاز طبیعی فشرده کاهش قیمت این سوخت نسبت به سایر سوخت‌ها می‌باشد.



شکل ۱۸: نمودار رفتار متغیر تعداد خودروهای دو گانه سوز در سناریو دوم

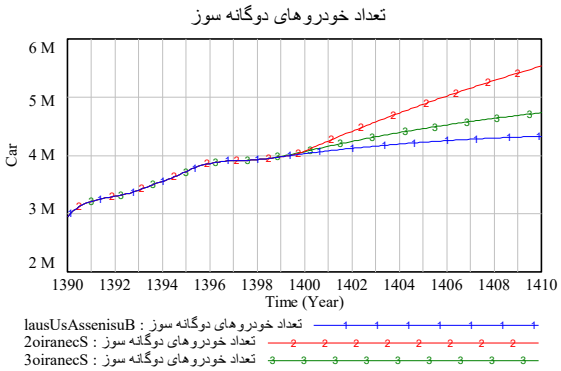


شکل۱۹: نمودار رفتار متغیر تعداد خودروهای بنزینی در سناریو دوم

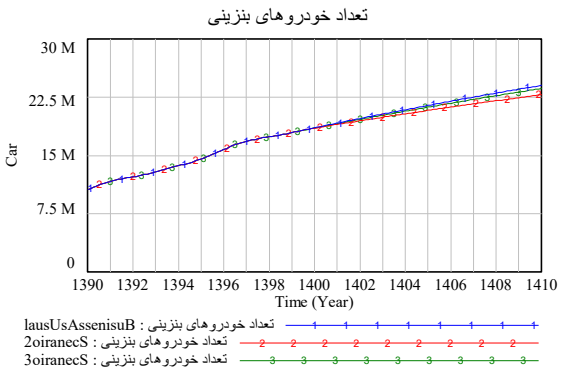
۴-۳-۳ سناریو سوم: کاهش یارانه پرداختی به سوخت بنزین و ثابت ماندن یارانه گاز طبیعی فشرده

در این سناریو تأثیر نصف شدن یارانه پرداختی به سوخت بنزین و ثابت ماندن یارانه پرداختنی به گاز طبیعی فشرده مورد ارزیابی قرار گرفته است و نتایج در شکل های ۲۰ و ۲۱ آمده است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]



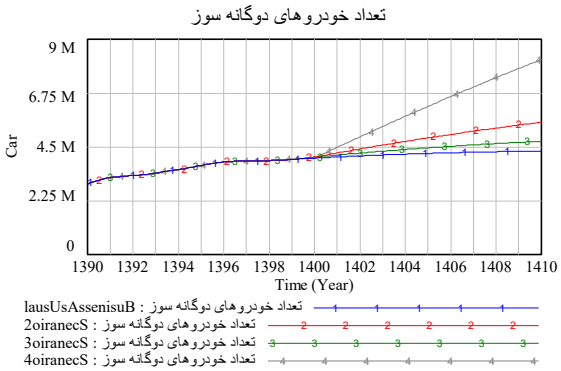
شکل۲۰: نمودار رفتار متغیر تعداد خودروهای دو گانه سوز در سناریو سوم



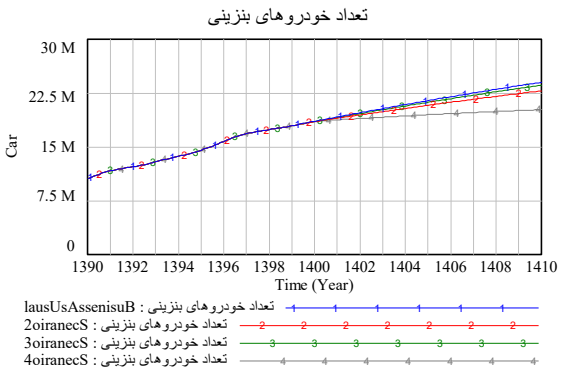
شکل۲۱: نمودار رفتار متغیر تعداد خودروهای بنزینی در سناریو سوم

۴-۳-۴ سناریو چهارم: الزام به اختصاص ۳۰ درصد تولیدات خودروسازان داخلی به خودروهای دوگانه سوز

براساس بند ۳ سیاست‌های تولید انواع خودرو سبک، نیمه سنگین و موتورسیکلت مندرج در بخش سوم سند تأمین انرژی بخش حمل و نقل کشور تا افق ۱۴۲۰ مصوب شورای عالی انرژی کشور ابلاغی از سوی سازمان برنامه و بودجه کشور طی نامه شماره ۷۵۳۵۸۴ مورخ ۱۳۹۹/۱۲/۲۹، ۳۰ درصد تولید خودروسازان داخلی به خودرو دوگانه سوز تا سال ۱۴۱۰ اختصاص یافت و این سیاست در مدل اجرا گردید که نتایج مطابق شکل های ۲۲ و ۲۳می‌باشد.



شکل۲۲: نمودار رفتار متغیر تعداد خودروهای دو گانه سوز در سناریو چهارم



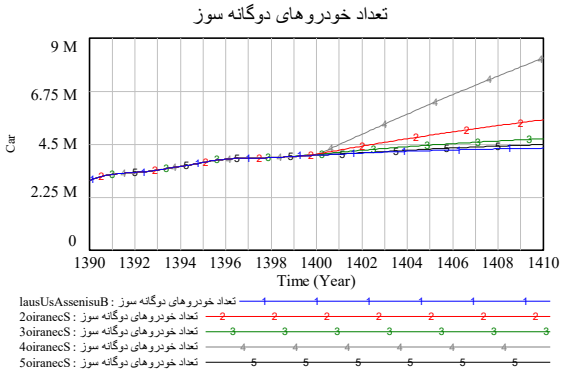
شکل۲۳: نمودار رفتار متغیر تعداد خودروهای بنزینی در سناریو چهارم

۴-۳-۵سناریو پنجم: افزایش تعداد ۷۰۰ جایگاه به جایگاه‌های گاز طبیعی فشرده در عرض ۴ سال

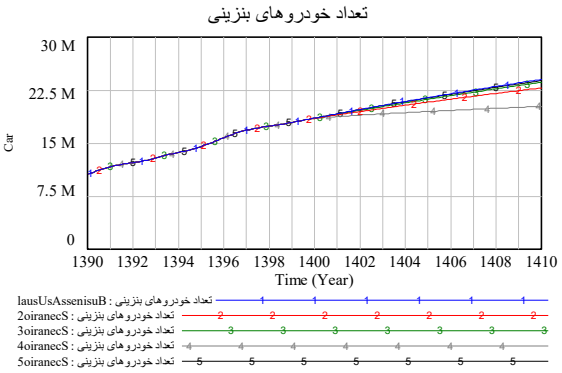
این سناریو براساس مصوبه به شمارهٔ ۱۳۶۵۹۶ مورخ ۱۴۰۰/۰۳/۲۹ درخصوص طرح «حمایت از تولید خودروهای دوگانه‌سوز، تبدیل کارخانه‌ای خودروهای بنزینی به CNG سوزو کمک به احداث جایگاه‌های هوشمند عرضه سوخت

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

CNG» طراحی و در مدل پیاده سازی گردید. در این سناریو تعداد ۷۰۰ جایگاه CNG در مدت زمان ۴ سال (۱۴۰۰ الی ۱۴۰۴) در سطح کشور ساخته شده است و نتایج حاصل از اجرای این اقدام در شکل های ۲۴ و ۲۵ ارائه شده است.



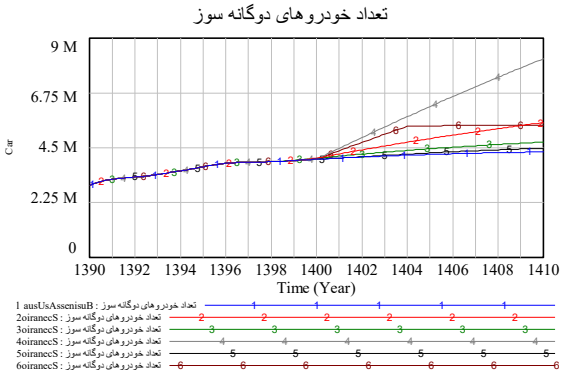
شکل۲۴: نمودار رفتار متغیر تعداد خودروهای دو گانه سوز در سناریو پنجم



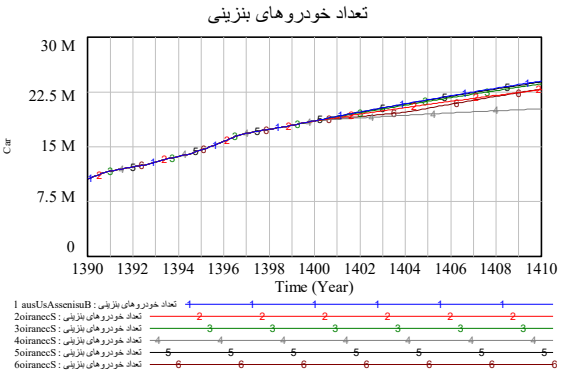
شکل۲۵: نمودار رفتار متغیر تعداد خودروهای بنزینی در سناریو پنجم

۴-۳-۶ سناریو ششم: افزایش ۱,۲۰۶,۰۰۰ خودرو دوگانه سوز در عرض ۴ سال

این سناریو براساس مصوبه به شمارهٔ ۱۳۶۵۹۶ مورخ ۱۴۰۰/۰۳/۲۹ درخصوص طرح «حمایت از تولید خودروهای دوگانه‌سوز، تبدیل کارخانه‌ای خودروهای بنزینی به CNG سوزو کمک به احداث جایگاه‌های هوشمند عرضه سوخت CNG» طراحی و در مدل پیاده سازی گردید؛ و تعداد ۱,۲۰۶,۰۰۰ خودرو دوگانه سوز از طریق تولید کارخانه‌ای و تبدیل کارگاهی در عرض ۴ سال به تعداد خودروهای دوگانه‌سوز اضافه می‌گردد. نتایج حاصل از اجرای این اقدام در شکل های ۲۶ و ۲۷ ارائه شده است.



شکل ۲۶: نمودار رفتار متغیر تعداد خودروهای دو گانه سوز در سناریو ششم

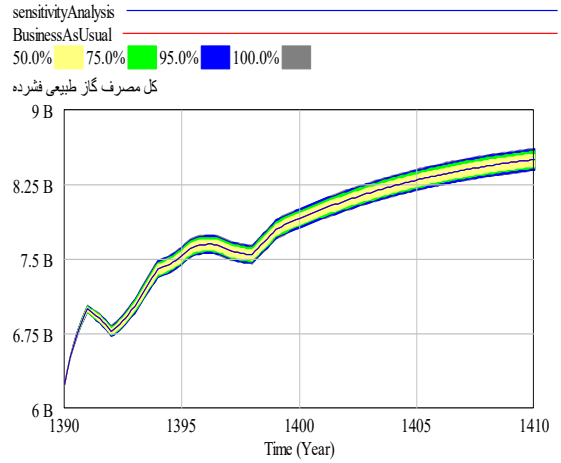


شکل۲۷: نمودار رفتار متغیر تعداد خودروهای بنزینی در سناریو ششم

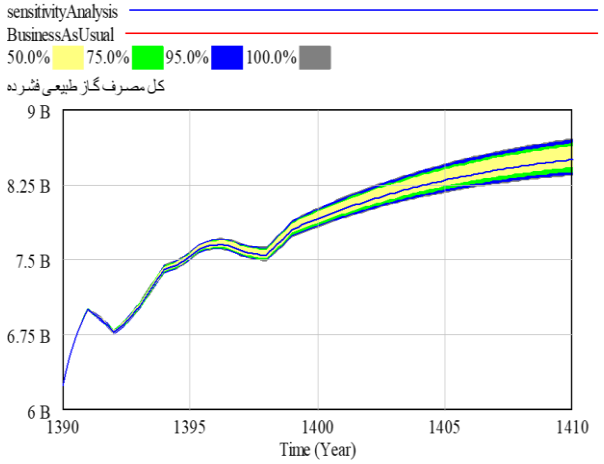
[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

۴-۴ تحلیل حساسیت پارامترهای مدل

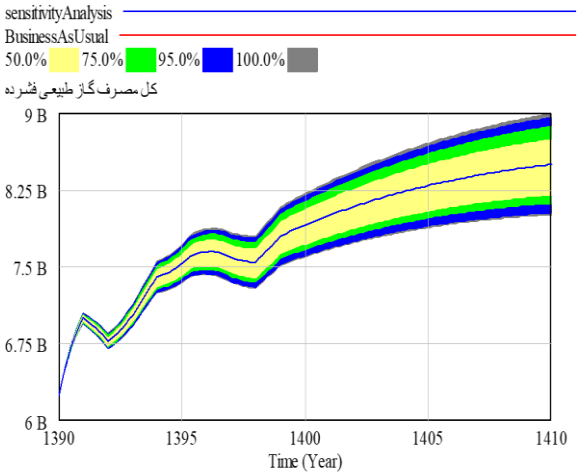
در این قسمت به منظور رتبه‌بندی و شناسایی عوامل کلیدی بر روی پارامترهای تعریف شده در مدل تحلیل حساسیت صورت می‌گیرد. بدین منظور مقدار برخی از پارامترهای ورودی مانند یارانه سوخت و قیمت گاز طبیعی فشرده به نسبت بنزین در بازه ۱۰٪ تغییر کرده و تأثیر آنها بر روی مقدار مصرف گاز طبیعی در شکل‌های ۲۸ تا ۳۱ ارائه گردیده است.



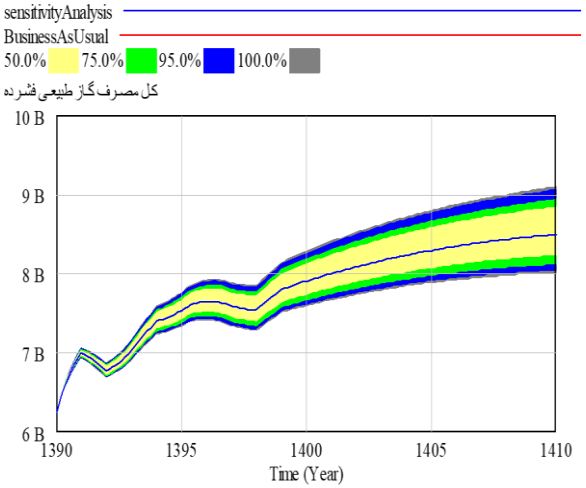
شکل ۲۸: تأثیر تغییر در یارانه گاز طبیعی فشرده



شکل۲۹: تأثیر تغییر در یارانه پرداختی به بنزین



شکل۳۰: تأثیر تغییر در قیمت بنزین به نسبت گاز طبیعی فشرده



شکل۳۱: تأثیر تغییر در قیمت گاز طبیعی فشرده به نسبت بنزین

نتایج تحلیل حساسیت نشان داد پارامترهای زیر به ترتیب بیشترین تأثیر را بر روی مصرف گاز طبیعی فشرده خواهند داشت: ۱) قیمت گاز طبیعی فشرده به نسبت بنزین، ۲) قیمت بنزین به نسبت گاز طبیعی فشرده، ۳) دسترسی به گاز طبیعی فشرده، ۴) یارانه پرداختی به بنزین، ۵) امنیت انرژی بنزین، ۶) یارانه پرداختی به گاز طبیعی فشرده، ۷) پیمایش خودروهای دوگانه سوز، ۸) دسترسی به بنزین، ۹) پیمایش خودروهای بنزینی، ۱۰) امنیت انرژی گاز طبیعی فشرده.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

۵) بحث و جمع بندی

مدل ارائه شده در این تحقیق بر مبنای مدل پولیا است که در کتاب استرمن[1] (۲۰۰۲) می باشد. بر همین اساس تعداد دو نوع خودرو بنزینی و دوگانه سوز رقابی هستند که با توجه به پارامترهای دسترس‌پذیری سوخت مصرفی، امنیت انرژی سوخت مصرفی، قیمت عرضه سوخ، یارانه دولتی اختصاص یافته به هر نوع سوخت، پیمایش هرنوع خودرو با توجه به سوخت مصرفی، آلاینده منتشره و رواج تکنولوژی هر نوع خودرو افزایش یا کاهش پیدا می‌کنند. از جمله فرضیات دینامکی مدلسازی شده در این مطالعه عبارتند از: ۱) تأثیر آلایندگی منتشره بر روی تعداد خودروهای دوگانه سوز و بنزینی، ۲) رواج تکنولوژی خودروهای دوگانه سوز و بنزینی، ۳)دسترس‌پذیری به سوخت هر نوع خودرو.

شش سناریو در این پژوهش مطرح شد و تأثیر آنها بر روی متغیرهای تعداد هر نوع خودرو (بنزینی یا دوگانه سوز) ارزیابی شد.

نتایج سناریو اول نشان می‌دهد در صورتی که هیچ اقدامی در خصوص حمایت از صنعت CNG در حوزه خودروهای دوگانه سوز صورت نگیرد تعداد خودروهای دوگانه سوز با رفتاری هدف‌جو به عدد ۴.۳ میلیون دستگاه در سال ۱۴۱۰ رسیده و تحولی در تعداد این خودروها و مصرف CNG صورت نخواهد پذیرفت. در سناریو دوم به بررسی اثر افزایش نسبت قیمت بنزین به قیمت CNG بر روی رفتار تعداد خودروها پرداخته شد. نتایج موید این مطلب است که با افزایش نسبت قیمت بنزین، تعداد خودروهای بنزینی کاهش یافته و تعداد خودروهای دوگانه سوز و مصرف CNG در افق ۱۰ ساله حدود ۲۸ درصد افزایش می‌یابد. در سناریو سوم نیز به بررسی اثر کاهش یارانه پرداختی به سوخت بنزین و ثابت ماندن یارانه گاز طبیعی فشرده پرداخته شده است. با این شرایط تعداد خودروهای بنزینی به میزان ۱.۷ درصد کاهش یافته و تعداد خودروهای گازسوز نیز به اندازه ۹.۳٪ افزایش خواهد یافت. برآیند سناریوی دوم و سوم نشان می‌دهد قیمت سوخت عامل مهمی در تغییر تعداد هر نوع از خودروها می‌باشد. سناریو چهارم خودروسازان داخلی ملزم می‌شوند ۳۰ درصد از تولیدات خودرا به تولید خودروهای دوگانه سوز اختصاص دهند. نتایج نشان می‌دهد اتخاذ این استراتژی غیرقیمتی که در «سند تأمین انرژی بخش حمل و نقل کشور» نیز بر آن تاکید شده است، منجر به افزایش تعداد خودروهای دوگانه سوز به میزان ۸۸ درصد در افق ۱۰ ساله شده و تعداد این نوع خودروها در سال ۱۴۱۰ به عدد ۸.۲ میلیون دستگاه خواهد رسید. در سناریوی پنجم نیز اثر استراتژی افزایش شاخص دسترس پذیری خودرو دوگانه سوز به سوخت مصرفی با افزایش تعداد جایگاه CNG در عرض ۴ سال را مورد بررسی قرار گرفت.نتایج نشان داد این استراتژی تأثیر افزایشی به میزان ۳.۵ درصدی بر روی تعداد خودروهای دوگانه‌سوز و مصرف سوخت خواهد گذاشت. نتایج اجرای سناریو ششم مبنی بر

[1] Sterman

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

افزایش تعداد خودرو دوگانه سوز در عرض ۴ سال بر روی متغیرهای هدف مدل نشان داد که مصرف سوخت CNG در عرض ۱۰ سال به میزان ۲۵.۵ درصد افزایش پیدا خواهد کرد.

جدول ۱ نتایج اجرای سناریوها را نشان می دهد. از آنجا که اجرای سناریو چهارم به افزایش مصرف CNG به اندازه ۱۶/۰ میلیارد مترمکعب معادل ۸۸/۳ درصد در سال ۱۴۱۰ می شود و این مقدار نسبت به نتایج سایر سناریوها بالاتر است، لذا این سناریو به عنوان سناریوی برتر تلقی می شود. ضمن آن که نتایج این سناریو با پیشبینی های میزان مصرف CNG تا افق ۱۴۱۰ در سند تامین انرژی هم تطابق دارد.

جدول۱: نتایج حاصل از اجرای سناریوها

سناریو	مصرف گاز CNG (میلیارد مترمکعب در سال)	مصرف گاز CNG (درصد)	اولویت بندی استراتژی
سناریو چهارم	۱۶/۰	٪۸۸.۳	۱
سناریو دوم	۱۰/۹	٪۲۷.۸	۲
سناریو ششم	۱۰/۷	٪۲۵.۵	۳
سناریو سوم	۹/۳	٪۹.۳	۴
سناریو پنجم	۸/۸	٪۳.۵	۵
سناریو اول	۸/۵	٪۰	۶

۶) جمع بندی

از آنجا که متدولوژی پویایی شناسی سیستم‌ها بر مبنای تفکر سیستمی است و در تفکر سیستمی تا حد امکان تاثیرگذاری و تاثرپذیری عوامل مهم بر روی سیستم در نظر گرفته می‌شود؛ با استفاده از این ابزار می‌توان به تحلیل اثر عوامل مؤثر پرداخت. در پژوهش حاضر با تعریف سناریوهای مختلف به بررسی اثر استراتژی‌های بهبود بر روی مصرف CNG به صورت کمی پرداخته شد. نتایج این تحقیق نشان داد، اجرای استراتژی از طریق اعمال سناریوی چهارم (الزام به اختصاص ۳۰ درصد تولیدات خودروسازان داخلی به خودروهای دوگانه سوز) بیشترین تأثیر را بر روی افزایش مصرف CNG دارد. در ادامه، تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای برونزا انجام شد و نتایج نشان داد تغییر در پارامترهای قیمت گاز طبیعی فشرده به نسبت بنزین و قیمت بنزین به نسبت گاز طبیعی فشرده بیشترین تأثیر را بر روی مصرف CNG نشان می‌دهد.

پیشنهادات پژوهش حاضر به دو دسته پیشنهادات کاربردی و پیشنهادات برای تحقیقات آتی دسته بندی می شود:

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

۶-۱ پیشنهادات کاربردی

- توسعه جایگاه های عرضه سوخت **CNG** : راهکار اجرای این پیشنهاد عبارت است از : ۱) افزایش نرخ حق العمل ویژه نسبت به نرخ فعلی و تداوم افزایش سالیانه آن از سوی دولت متناسب با نرخ تورم واقعی؛ ۲) اعطای کمک بلاعوض به متقاضیان با اولویت کلانشهرها و شهرهای کمتر توسعه یافته جهت تسریع در روند گسترش ایستگاه های عرضه سوخت؛ ۳) عهده دار شدن پرداخت بخشی از سود تسهیلات بانکی دریافتی از سوی متقاضیان احداث جایگاه **CNG**، توسط دولت؛ ۴) را برعهده خواهد گرفت؛ ۵) کاهش تعرفه و هزینه اخذ مجوز احداث از سازمان های ذیربط نسبت به مجوز احداث جایگاه بنزین .

- توسعه ناوگان خودرو های دوگانه سوز: این امر از طریق برخی از اقدامات پیشنهادی تسهیل می یابد: ۱) اعطای کمک بلاعوض توسط دولت به خودروسازان جهت گسترش تعداد خودروهای دوگانه سوز در کشور؛ ۲) اعطای کمک بلاعوض توسط دولت به متقاضان تبدیل خودروهای بنزینی به دوگانه سوز؛ ۳) کاهش تعرفه های گمرکی و سود های بازرگانی دولتی جهت واردات خودرو های دوگانه سوز؛ ۴) پرداخت بخشی از سود تسهیلات بانکی دریافتی از سوی متقاضیان خرید خودروهای عمومی دو گانه سوز از جمله تاکسی، ون، مینی بوس و اتوبوس.

- تعیین نرخ مناسب قیمت **CNG** توسط دولت

- کاهش تعرفه واردات مواد اولیه، قطعات و تجهیزات در بخش جایگاهی

- کاهش تعرفه واردات مواد اولیه، قطعات و تجهیزات در بخش خودرویی بمنظور استفاده در بخش تبدیل، تولید، نگهداشت و تعمیرات خودرو های **CNG**

- کاهش تعرفه عوارض از جمله عوارض آزاد راهی، شهرداری و طرح ترافیک از مالکین خودرو های دو گانه سوز نسبت به میزان دریافتی از مالکین خودرو های بنزینی.

- ارتقاء تکنولوژی تولید خودرو های دو گانه سوز در کشور

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

- توسعه متوازن زیرساخت های اکتشاف، پالایش و انتقال گاز طبیعی

۶-۲ محدودیت و پیشنهادات برای مطالعات آتی

پژوهش حاضر مانند سایر پژوهش های علمی با محدودیت هایی مواجه می باشد. در مدل مطرح شده در پژوهش، با توجه به مرز تعریف شده، برخی از پارامترها به صورت برونزا در نظر گرفته شده‌اند. به محققین آتی پیشنهاد می شود با مدل‌سازی بازخوردهای دخیل در شکل گیری این پارامترها مانند تأثیر تعداد خودروهای دوگانه سوز بر سیاست‌های توسعه جایگاه‌های CNG و نیز بکارگیری متغیرهای جدید مدل را توسعه داد.همچنین، در این پژهش صرفا بر خودروهای بنزینی و دوگانه سز تمرکز شده است. لذا، پیشنهاد می شود در پژوهش های آتی انواع دیگر خودروها مثل خودروهای برقی و خودروهای هیدروژنی نیز در نظر گرفته شود. مطالعه ادبیات تحقیق که از ابزار پویایی شناسی سیستم‌ها استفاده کرده‌اند نشان می‌دهد این تحقیقات به میزان آلایندگی منتشره از خروجی اگزوز خودرو توجه شده که پیشنهاد می‌شود تمامی آلایندگی‌ها از چاه تا چرخ (تولید تا مصرف) هر سوخت به عنوان متغیر مؤثر در مدلسازی لحاظ شود.

منابع

امین طهماسبی، حمزه، و رضوی نسب، سید جمال الدین (۱۳۹۹). تحلیل عوامل مؤثر در توسعه استفاده از گاز طبیعی فشرده **(CNG)** به‌جای بنزین در سیستم حمل‌ونقل جاده‌ای ایران با استفاده از مدل پویاشناسی سیستم‌ها . نشریه علمی (فصلنامه) تحقیقنامه حمل و نقل ، ۱۷(۳)، ۵۸-۴۵

دانش شهرکی، سعید، شکوری گنجوی، حامد و زارعیان، رحمان (۱۳۹۶). تحلیل و پیش بینی روند تعداد خودروهای دوگانه سوز و تأثیر آن بر آلودگی هوای شهر تهران با رویکرد پویایی شناسی سیستم‌ها. چهاردهمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع، تهران.

زارعیان مزرعه خسرو، و رحمان، شکوری گنجوی، حامد (۱۳۹۵). تحلیل سیستمی تقاضای بنزین و برآورد کشش قیمتی تقاضای آن در استان تهران. تحقیقنامه اقتصاد انرژی ایران. ۵(۱۸)، ۶۱-۹۸.

:سید جمال الدین رضوی نسب مهدی فدایی اشکیکی مهدی همایون فر مریم اوشک سرایی، مدیریت راهبردی در سیستم های صنعتی سال ۱۷ بهار ۱۴۰۱ شماره ۵۹، ۱۰۵-۱۳۲

سید عرفان حسینی فر؛ مجید شفیع‌پور مطلق؛ خسرو اشرفی؛ محمدرضا احدی، (۱۴۰۲)، تحلیل تاثیر کیفیت و خصوصیات سوخت خودروهای سواری بر میزان انتشار آلاینده‌های مبنا، گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های خطرناک، فصلنامه علمی مطالعات مدیریت ترافیک، دوره ۱۸، شماره ۴، دی ۱۴۰۲، صفحه **190-151**، **10.22034/tms.2024.1275517.1239**

نادری، ر.، سلیمی، م. (۱۳۹۷). بررسی کارایی سوخت **CNG** و بنزین در خودروهای شهری. پژوهش‌های انرژی، ۱۵(۲)، ۱۳۴-۱۴۵.

نظری، محمد، کاشی، احسان، (۱۴۰۳)، ارزیابی اثر افزایش قیمت سوخت بر حمل‌ونقل شهری با استفاده از مدل **QRUET**، فصلناکه علمی مطالعات مدیریت ترافیک، دوره ۱۹، شماره ۲، پیاپی ۷۳، ۶۵-۹۰

ایلدر آبادی، رحیم، صادقی، اصغر(۱۴۰۰) برآورد میزان انرژی اتلافی ناشی از ترمزگیری خودروها در مقابل تقاطعات چراغدار شهر تهران، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ۱۳، شماره ۲، پیاپی ۵۱، ۱۴۵۷-۱۴۶۷ سید جمال‌الدین

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

امانلو مرتضی، کاه فروشان داوود، محمدی میلاد (۱۴۰۰) بررسی و ارزیابی آلاینده های حاصل از خودروهای سواری در ایران، مهندسی عمران و محیط زیست (دانشکده فنی)، دوره ۵۱، شماره ۴، پیاپی ۱۰۵، ۹۷-۱۰۸، **https://www.sid.ir/paper/1038686/fa**

رضوی‌نسب سید جمال‌الدین، فدایی اشکیکی مهدی، همایون فر مهدی، اوشک سرایی مریم. ارائه راهکاری برای مدیریت پایدار مصرف گاز طبیعی در سوخت ناوگان تاکسی‌های شهری با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها. فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی. ۱۴۰۱؛ ۱۸ (۷۳) :۲۷۲-۲۳۷،

URL: http://iiesj.ir/article-1-1469-fa.html

(Azarnoosh et al., 2024; Bertoldi & Mosconi, 2020; Bielik et al., 2023; Chen et al., 2024; Daneshzand et al., 2019; Fattah et al., 2023; Gupta et al., 2019; Munahar et al., 2022; Noorymotlagh & Çiftçioğlu, 2023; Oliveira et al., 2019; Rizvi et al., 2023; Saraf & Shastri, 2023; Sehatpour et al., 2017; Setiawan, 2019; Shamsapour et al., 2021; Sterman, 2002; Teimouri et al., 2022; Vilchez & Jochem, 2019; Wan Rosely & Voulvoulis, 2024; Yaqoob et al., 2021)

Azarnoosh, Z., Moradinia, S. F., Golchin, B., & Jani, R. (2024). Economic and Environmental Analysis of EVs' in Urban Transportation Using System Dynamics. *Sustainable Futures*, 100314. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sftr.2024.100314

Bertoldi, P., & Mosconi, R. (2020). Do energy efficiency policies save energy? A new approach based on energy policy indicators (in the EU Member States). *Energy Policy*, *139*, 111320. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111320

Bielik, T., Delen, I., Krell, M., & Assaraf, O. B. Z. (2023). Characterising the literature on the teaching and learning of system thinking and complexity in stem education: A bibliometric analysis and research synthesis. *Journal for STEM Education Research*, *6*(2), 199-231. https://doi.org/https://link.springer.com/article/10.1007/s41979-023-00087-9

Chen, B. Y., Liu, Q., Gong, W., Tao, J., Chen, H.-P., & Shi, F.-R. (2024). Evaluation of energy-environmental-economic benefits of CNG taxi policy using multi-task deep-learning-based microscopic models and big trajectory data. *Travel Behaviour and Society*, *34*, 100680. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tbs.2023.100680

Daneshzand, F., Amin-Naseri, M. R., Asali, M., Elkamel, A., & Fowler, M. (2019). A system dynamics model for optimal allocation of natural gas to various demand sectors. *Computers & Chemical Engineering*, *128*, 88-105. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2019.05.040

Fattah, M. A., Istiaqe, M. A., Biswas, A., Rahman, M., Morshed, S. R., & Chakraborty, T. (2023). Environmental and economic benefits of CNG conversion on three-wheelers in a developing city, Khulna, Bangladesh. *Transportation Engineering*, *13*, 100199. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.treng.2023.100199

Gupta, M., Bandyopadhyay, K. R., & Singh, S. K. (2019). Measuring effectiveness of carbon tax on Indian road passenger transport: A system dynamics approach. *Energy Economics*, *81*, 341-354. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.03.013

Munahar, S., Setiyo, M., Masykur, F., & Purnomo, B. C. (2022). Review of Research on the Application of CNG Fuel in Vehicle Engines: Research Bibliography 2017–2021. International Conference on Experimental and Computational Mechanics in Engineering,

Noorymotlagh, M., & Çiftçioğlu, S. (2023). Relationship between Energy Consumption, Carbon Dioxide Emissions and Economic Growth: Evidence from Selected Top Oil Energy-Consuming Countries. *Journal of Energy Research and Reviews*, *15*(1), 67-85. https://doi.org/https://doi.org/10.9734/jenrr/2023/v15i1299

Oliveira, G. D., Roth, R., & Dias, L. C. (2019). Diffusion of alternative fuel vehicles considering dynamic preferences. *Technological Forecasting and Social Change*, *147*, 83-99. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.06.002

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

Rizvi, S. H. A., Agrawal, P., Batra, S., Nidhi, N., & Singh, V. (2023). Assessing urban heat island intensity and emissions with compressed natural gas in non-commercial vehicles. *Urban Climate*, *48*, 101421. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101421

Saraf, N., & Shastri, Y. (2023). System dynamics-based assessment of novel transport options adoption in India. *Clean Technologies and Environmental Policy*, *25*(3), 799-823. https://doi.org/https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-022-02398-8

Sehatpour, M.-H., Kazemi, A., & Sehatpour, H.-e. (2017). Evaluation of alternative fuels for light-duty vehicles in Iran using a multi-criteria approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *72*, 295-310. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.067

Setiawan, I. (2019). System dynamics modeling of Indonesia road transportation energy demand and scenario analysis to achieve national energy policy target. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering,

Shamsapour, N., Hajinezhad, A., & Noorollahi, Y. (2021). Developing a system dynamics approach for CNG vehicles for low-carbon urban transport: a case study. *International journal of low-carbon technologies*, *16*(2), 577-591. https://doi.org/https://doi.org/10.1093/ijlct/ctaa085

Sterman, J. (2002). System Dynamics: systems thinking and modeling for a complex world. https://doi.org/http://hdl.handle.net/1721.1/102741

Teimouri, A., Kabeh, K. Z., Changizian, S., Ahmadi, P., & Mortazavi, M. (2022). Comparative lifecycle assessment of hydrogen fuel cell, electric, CNG, and gasoline-powered vehicles under real driving conditions. *International Journal of Hydrogen Energy*, *47*(89), 37990-38002. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.08.298

Vilchez, J. J. G., & Jochem, P. (2019). Simulating vehicle fleet composition: A review of system dynamics models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *115*, 109367. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109367

Wan Rosely, W. I. H., & Voulvoulis, N. (2024). System Thinking for Sustainable Water Management: The Use of System Tools in Sustainability Transitions. *Water Resources Management*, *38*(4), 1315-1337. https://doi.org/https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-023-03723-6

Yaqoob, H., Teoh, Y. H., Goraya, T. S., Sher, F., Jamil, M. A., Rashid, T., & Yar, K. A. (2021). Energy evaluation and environmental impact assessment of transportation fuels in Pakistan. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, *3*, 100081. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cscee.2021.100081

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]